

人参皂苷 Rg1 对小菜蛾趋避率及酶活性的影响研究

王艳玲¹, 刘广娜², 周生学², 奚广生¹, 李海涛², 张忠宝^{2*}

(1. 梧州学院食品与制药工程学院, 广西 梧州 543000; 2. 吉林农业科技学院中药学院, 吉林 吉林 132101)

摘要: 探讨人参皂苷 Rg1 对小菜蛾体内酶活性的影响, 为研究人参皂苷在生物防治中的作用提供参考依据。采用叶片药膜法, 以人参皂苷 Rg1 为主要试验材料, 以小菜蛾为供试昆虫, 测定小菜蛾取食不同剂量人参皂苷 Rg1 后对自身保护酶(POD、CAT 和 SOD)和消化酶活力的动态影响。结果表明, 在 24 h 和 48 h, 人参皂苷 Rg1 对小菜蛾的选择性趋避率均有明显作用, 人参皂苷浓度为 30 mg/mL 时, 对小菜蛾趋避率分别是 92.86% 和 73.51%。在 48 h、10 mg/mL 条件下对 CAT、几丁质酶活性抑制作用最强; 在 48 h、20 mg/mL 条件下对 POD、AMS 和脂肪酶抑制作用最强, 达到 80% 左右; 在 24 h、10 mg/mL 条件下对 SOD 活性抑制作用最强, 达到 90% 以上。人参单体皂苷 Rg1 在不同浓度下对小菜蛾体内保护酶和消化酶都有显著影响, 且在一定条件下表现出抑制和诱导作用, 对其有一定的生物活性, 具有进一步开发的潜力。

关键词: 人参皂苷 Rg1; 小菜蛾; 趋避率; 酶活性

中图分类号: S482.3⁹

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)04-0051-05

Effect of Ginsenoside Rg1 on the Avoidance Rate and Enzyme Activity of *Plutella xylostella*

WANG Yanling¹, LIU Guangna², ZHOU Shengxue², XI Guangsheng¹, LI Haitao², ZHANG Zhongbao^{2*}

(1. School of Food and Pharmaceutical Engineering, Wuzhou University, Wuzhou 543000; 2. School of Traditional Chinese Medicine, Jilin Agricultural Science and Technology University, Jilin 132101, China)

Abstract: This study investigated the effect of ginsenoside Rg1 on the enzyme activity of *Plutella xylostella*, aiming to provide reference for the study of the biological control effect of ginsenoside. The leaf membrane method was employed using ginsenoside Rg1 as the main experimental material and *P. xylostella* as the test insect. The dynamic effects of feeding *P. xylostella* with different doses of ginsenoside Rg1 on their protective enzymes [peroxidase (POD), catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD)] and digestive enzyme activity were measured. The results showed that ginsenoside Rg1 had an obvious effect on the selective avoidance rate of *P. xylostella* at 24 h and 48 h. When the concentration of ginsenoside was 30 mg/mL, the selective avoidance rates were 92.86% and 73.51%, respectively. The inhibition of CAT and chitinase activity was the strongest under 48 h and 10 mg/mL. Under the conditions of 48 h and 20 mg/mL, the inhibition of POD, AMS and lipase reached the maximum of 80%. At 24 h and 10 mg/mL, the maximum inhibition of SOD activity reached more than 90%. Ginsenoside Rg1 has significant effects on protective enzymes and digestive enzymes in diamondback moth at different concentrations, and shows inhibition and induction under certain conditions. It possesses certain biological activity and holds potential for further development.

Key words: Ginsenoside Rg1; *Plutella xylostella*; Avoidance rate; Enzyme activity

人参(*Panax ginseng* C. A. Meyer)是五加科人参属多年生草本植物, 被誉为百草之王^[1]。人参

单体皂苷 Rg1 是人参次生代谢产物的标志性成分之一^[2], 具有促进生物体内新陈代谢、保护心脑血管、提高机体的免疫功能、增加机体解毒能力、增强神经递质的传导等作用^[3]。近年来人参次生代谢产物在生态学中的作用逐渐被人们所熟知, 为什么人参在生长数十年间很少遭到昆虫啃食, 其中人参次生代谢产物发挥着重要的协同作用^[4-6]。随着植物源农药的发展, 新型、高效、低毒的天然驱虫、杀虫物质的应用前景广阔, 特别是在传统

收稿日期: 2022-10-08

基金项目: 2022 年梧州学院人才引进科研启动基金项目(WZUQDJJ17249); 吉林省道地药材生产利用技术创新重点实验室项目(119122022002)

作者简介: 王艳玲(1965-), 女, 教授, 从事中草药栽培、成分提取方面的研究。

通讯作者: 张忠宝, 男, 教授, E-mail: zzb6040@126.com

大宗类中药材当中筛选,提高资源利用,拓宽中药在农业生物防治的应用等方面具有重要意义。

小菜蛾(*Plutella xylostella*)属菜蛾科菜蛾属,是十字花科植物的主要害虫之一,主要危害油菜等蔬菜^[7]。小菜蛾体形小、生命周期短、繁殖力强,易产生抗药性,防治困难^[8]。

逆境条件下,植物体内保护酶能够清除自由基,它由许多酶和还原性物质组成,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)是主要的抗氧化酶^[9]。昆虫所摄取的食物需经过体内一系列酶的消化分解才能被吸收利用,因此其肠道内消化酶的活力对其正常的生理代谢、生化过程和营养吸收有着非常重要的作用^[10]。植物次生代谢产物在抗虫方面,主要以生物碱、萜类、酚类等物质为主,主要影响昆虫的活动行为,起趋避作用;影响昆虫取食和消化,延迟生长、引起中毒等作用^[11]。人参次生代谢产物为三萜类物质,对昆虫活动行为有一定影响^[12]。目前关于人参皂苷 Rg1 对小菜蛾保护酶的影响研究尚无详细报道,主要研究在解毒酶和神经性系统酶方向^[13]。本文研究人参皂苷 Rg1 对小菜蛾生活习性和体内保护酶的影响,以期为人参三萜类物质在生物防治应用方面提供理论依据,为大宗中药在植物源农药的开发方面找到新的应用方向。

1 材料与方法

1.1 试验材料

人参皂苷 Rg1(纯度 98%):上海源叶生物科技有限公司生产,使用时用 0.2% 曲拉通溶液(表面活性剂有利于叶面附着)分别将其配制成不同浓度梯度(5、10、20、30、60 mg/mL),做好密封和保藏,现用现配。

供试昆虫:小菜蛾,中国农业科学院植物保护研究所提供,在温度(27±1)℃、相对湿度 80%、光照周期为 L/D=14 h/10 h 的人工气候培养箱内饲养^[14],用油菜叶片饲养。

供试油菜叶片:采自吉林农业科技学院药用植物园(无农药)。

1.2 试验方法

1.2.1 趋避试验

取新鲜平整均一的油菜叶片,以中脉为分界线,将一片完整叶片均等分成两部分,放入铺好滤纸的培养皿中,每个培养皿一片。用毛刷蘸取配制好的不同浓度人参皂苷 Rg1 溶液涂抹在处理组一侧,另一侧涂抹 0.2% 曲拉通溶液为对照组,

自然晾干。处理组接 2 龄小菜蛾 10 头,用保鲜膜封住皿口(保鲜膜打细小的排气孔),测定不同时间段(24、48 h)小菜蛾对不同浓度人参皂苷 Rg1 溶液的趋避作用。在 24 h 和 48 h 分别统计培养皿中两侧小菜蛾数目,并计算趋避率。

趋避率 = $(N_{ck} - N) \times 100\%$, 其中 N_{ck} 为对照组处理的小菜蛾数量, N 为处理组小菜蛾数量。

1.2.2 试虫处理

采用叶片膜药法^[15]有所改进,选择健康的 2 龄小菜蛾饥饿处理 6 h,将油菜叶片在不同浓度的人参皂苷 Rg1 溶液中浸泡 3 s,自然晾干,放入铺有湿滤纸的培养皿中,将经过饥饿处理后的 2 龄小菜蛾放入培养皿中,35 头/皿,保鲜膜封住皿口(保鲜膜打细小的排气孔),室温喂养,每个处理 3 个重复,同时用涂抹 0.2% 曲拉通溶液的油菜叶片作为对照组,测定小菜蛾 24 h 和 48 h 时的保护酶和消化酶活性。

1.2.3 酶液的制备

小菜蛾在室温下饲喂含有不同浓度人参皂苷 Rg1 溶液的油菜叶片,处理 24 h 和 48 h 后,将其从培养皿中取出(挑取成活,重量相当,大小相似的试虫 10 头),再用微量加样器加入 1 mL 提取液(0.1 mol/L pH 7.4 PBS, 含 1 mmol/L EDTA、1 mmol/L DTT、1 mmol/L PTU、1 mmol/L PMSF、10% 甘油),冰浴匀浆,补足体积到 2 mL,4℃,12 000 r/min 离心 15 min,取上清液(-20℃保存)。

1.2.4 酶液测定及方法

(1)蛋白总含量测定:以尿蛋白定量试剂盒(CBB法),在 595 nm 处,光径 1 cm,双蒸水调零测定各管吸光度。

(2)过氧化氢酶(CAT)活性测定参考张治安等^[16-17]的方法,取 250 μL 反应液并加入 30 μL 酶液,以 PBS 为对照调零,测定 OD₂₄₀(紫外)(测定 40 s)的吸光度。以每分钟 OD 值减少 0.01 为 1 个酶活性单位(U)。每处理重复 3 次。

$$\text{CAT 活性} = (\Delta A_{240} \times V_t) / (W \times V_s \times 0.01 \times t)$$

式中, ΔA_{240} 为吸光度差值; W 为小菜蛾重; t 为反应时间; V_t 为酶液体积; V_s 为反应酶液体积。

(3)过氧化物酶(POD)活性测定参考张治安等^[16,18]的方法,取 250 μL 反应液并加入 30 μL 酶液,以 PBS 为对照调零,而后测定 OD₄₇₀ 值(34℃,测定 2 min),每 30 s 读数一次。酶活性计算:以每分钟 OD 值升高 0.01 为 1 个酶活性单位(U)。

$$\text{POD 活性} = (\Delta A_{470} \times V_t) / (W \times V_s \times 0.01 \times t)$$

(4)SOD 活性测定参考杨振德等^[19-20]的方法,以抑制 NBT 光化还原 50% 所需酶量为 1 个酶活单位(U)。

$$\text{SOD总活性} = (A_{ck} - A_E) \times V / (1/2 A_{ck} \times W \times V_t)$$

$$\text{SOD比活力} = \text{SOD总活性} / \text{蛋白质含量}$$

式中, A_{ck} 为对照管的吸光度; A_E 为样品管的吸光度; V 为酶液体积; V_t 为反应酶液体积; W 为小菜蛾重; 蛋白质含量单位为 mg/g。

(5)淀粉酶活力测定参考陈巨莲等^[21]的方法。

(6)脂肪酶活力测定参考蒋传葵等^[22]的方法。粗酶提取同蛋白酶活力测定。在 96 孔酶标板中加入 10 μL 酶溶液、18 μL 50 mmol/L 4-硝基苯丁酸酯、172 μL PBS (pH 7.0), 在 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中温育 15 min。-20 $^{\circ}\text{C}$ 条件下终止反应 (5 min), 405 nm 处测定吸光度。

(7)几丁质酶活性测定参考周桂等^[23]的方法。N-乙酰氨基葡萄糖还原糖采用 DNS 比色法测定, 酶比活力以单位虫体蛋白质的酶活力表示。

1.3 数据分析

采用 SPSS 22.0 软件计算趋避率和酶活性的平均值和标准差, 采用单因素进行差异显著性方差分析; 试验数据采用 LSD 法进行差异显著性检验。利用 Excel 2016 作图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾趋避率的影响

采用不同浓度人参皂苷 Rg1 处理小菜蛾, 按照公式计算小菜蛾选择性趋避率, 趋避效果见图 1。

从图 1 可以看出, 人参皂苷 Rg1 对 2 龄小菜蛾的选择性趋避作用显著。人参皂苷浓度为 30 mg/mL 时, 处理 24 h 和 48 h 对小菜蛾的选择性趋避率均达到最大值, 分别是 92.86% 和 73.51%, 总体呈现

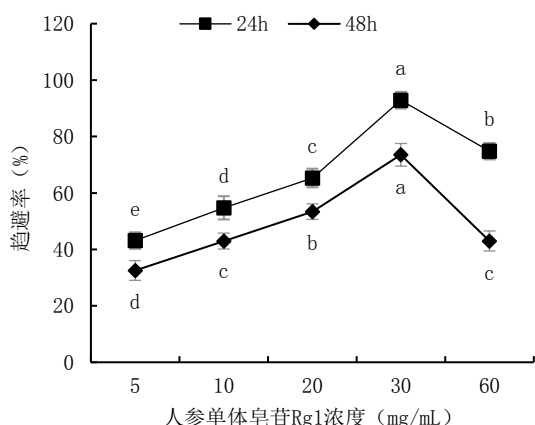


图 1 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾趋避率的影响

先高后低的趋势。表明人参皂苷 Rg1 的浓度在 5 mg/mL $\leq$ T $\leq$ 30 mg/mL 时, 对小菜蛾的趋避作用上升, 30 mg/mL $<$ T $\leq$ 60 mg/mL 时, 趋避作用下降; 处理 48 h 趋避率小于处理 24 h 趋避率, 随着时间的推移, 人参皂苷 Rg1 对小菜蛾的趋避作用降低。处理小菜蛾 24 h, 人参皂苷 Rg1 的浓度 T=30 mg/mL 时, 趋避作用最强。

2.2 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾保护酶活性的影响

2.2.1 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾 CAT 活性的影响

由表 1 可知, 10 mg/mL 人参皂苷 Rg1 处理 48 h 对小菜蛾体内 CAT 活性抑制作用明显, CAT 比活力最低, 为 1.581 U/mg $\cdot$ min。处理 48 h, CK、5 mg/mL 处理组与 10、20、30、60 mg/mL 处理组之间有显著性差异。10、20、30、60 mg/mL 处理组之间差异不显著, CK 和 5 mg/mL 处理组差异不显著。结果表明, 人参皂苷 Rg1 抑制小菜蛾体内 CAT 活性, 最佳处理时间为 48 h, 最佳处理浓度为 10 mg/mL。

表 1 24 h 和 48 h 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾 CAT 活性的影响

人参皂苷 Rg1 浓度(mg/mL)	CAT 活性(U/mg·min)	
	处理 24 h	处理 48 h
CK	11.392±1.584a	5.366±1.178a
5	7.402±0.724ab	5.907±0.235a
10	6.327±0.683ab	1.581±1.179b
20	8.617±2.244ab	2.409±0.286b
30	6.018±2.296b	1.825±0.536b
60	8.693±0.560ab	1.941±0.442b

注: 表中数据为“平均值 $\pm$ 标准误”; 不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$), 下同

2.2.2 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾 POD 活性的影响

由表 2 可知, 不同浓度人参皂苷 Rg1 处理 48 h

表 2 24 h 和 48 h 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾 POD 活性的影响

人参皂苷 Rg1 浓度(mg/mL)	POD 活性(U/mg·min)	
	处理 24 h	处理 48 h
CK	1.849±0.087a	1.824±0.110a
5	1.025±0.045b	1.274±0.089b
10	1.120±0.088ab	1.018±0.177ab
20	1.196±0.255ab	0.718±0.166b
30	1.288±0.417ab	0.812±0.150b
60	1.784±0.185a	0.801±0.089b

对小菜蛾体内 POD 比活力有明显抑制作用。20 mg/mL 人参皂苷 Rg1 处理 48 h 对小菜蛾体内 POD 活性抑制作用非常明显,POD 比活力达到最低,为 0.718 U/mg·min。处理 48 h,CK 与各组之间存在差异。人参皂苷 Rg1 能够抑制小菜蛾体内 POD 的活性,最佳处理时间为 48 h,最佳处理浓度为 20 mg/mL。

2.2.3 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾 SOD 活性的影响

由表 3 可知,不同浓度人参皂苷 Rg1 处理 24 h 小菜蛾体内 SOD 活力抑制作用比较明显。处理 24 h,处理组 5、60、20 mg/mL 之间差异不显著。CK 与 20、5、30、10 mg/mL 有显著差异。结果表明,人参皂苷 Rg1 能够抑制小菜蛾体内 SOD 的活性,最佳处理时间为 24 h,最佳处理浓度为 10 mg/mL,此时抑制作用最强。

表 3 24 h 和 48 h 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾 SOD 活性的影响

人参皂苷 Rg1 浓度 (mg/mL)	SOD 活性(U/mg·min)	
	处理 24 h	处理 48 h
CK	0.757±0.103a	0.399±0.074a
5	0.487±0.058b	0.332±0.057ab
10	0.062±0.015c	0.262±0.027b
20	0.512±0.015b	0.217±0.014b
30	0.201±0.076c	0.291±0.017ab
60	0.687±0.007ab	0.223±0.003b

2.3 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾消化酶活性的影响

2.3.1 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾淀粉酶(AMS)活性的影响

由表 4 可知,不同浓度人参皂苷 Rg1 处理 48 h 对小菜蛾体内 AMS 比活力具有明显的抑制作用。在处理 24 h,随着人参皂苷 Rg1 浓度的增加,淀粉酶活性变化不明显,没有显著性差异。在处理时间延长到 48 h,随着浓度的增加人参皂苷 Rg1 对

表 4 24 h 和 48 h 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾淀粉酶活性的影响

人参皂苷 Rg1 浓度(mg/mL)	淀粉酶活性/(U/mg·min)	
	处理 24 h	处理 48 h
CK	0.053±0.005a	0.024±0.002a
5	0.053±0.002a	0.015±0.002b
10	0.047±0.005a	0.016±0.003b
20	0.045±0.001a	0.015±0.002b
30	0.054±0.003a	0.015±0.002b
60	0.047±0.002a	0.019±0.001ab

小菜蛾体内 AMS 抑制作用明显,但处理的效果不随着浓度的增加而变化,AMS 活力值最低为 0.015 U/mg·min。

2.3.2 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾消化脂肪酶活性的影响

由表 5 可知,不同浓度人参皂苷 Rg1 处理 48 h 对小菜蛾体内脂肪酶活力具有明显的抑制作用。处理 24 h 时随着人参皂苷 Rg1 浓度的增加,各处理组之间差异不显著,影响表现不明显。处理 48 h,CK 与 10、20、30 mg/mL 处理组之间存在显著差异。人参皂苷 Rg1 能够抑制小菜蛾体内脂肪酶的活性,最佳处理时间为 48 h,最佳处理浓度为 20 mg/mL,此时抑制作用最强。

表 5 24 h 和 48 h 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾脂肪酶活性的影响

人参皂苷 Rg1 浓度(mg/mL)	脂肪酶活性(U/mg·min)	
	处理 24 h	处理 48 h
CK	6.836±1.995a	2.289±0.042a
5	9.977±3.236a	1.469±0.103abc
10	10.508±2.541a	0.813±0.246c
20	6.631±0.748a	0.549±0.240c
30	7.370±2.303a	1.233±0.304bc
60	6.608±1.164a	2.033±0.563ab

2.4 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾生长发育类酶的影响

由表 6 可知,人参皂苷 Rg1 处理对小菜蛾体内几丁质酶活性抑制作用明显。处理 48 h,人参皂苷 Rg1 浓度为 10 mg/mL 时,抑制作用最强,几丁质酶活性达到最低,为 7.364 U/mg·min。处理 24 h 和处理 48 h,CK 和各处理组之间均差异不显著。人参皂苷 Rg1 能够抑制小菜蛾体内几丁质酶的活性,最佳处理时间为 48 h,最佳处理浓度为 10 mg/mL。

表 6 24 h 和 48 h 不同浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾几丁质酶活性的影响

人参皂苷 Rg1 浓度(mg/mL)	几丁质酶活性(U/mg·min)	
	处理 24 h	处理 48 h
CK	12.335±1.923a	8.597±0.313ab
5	14.722±3.344a	7.674±0.368b
10	10.344±0.681a	7.364±0.782b
20	10.530±0.150a	7.755±0.301b
30	14.765± 2.892a	7.582±0.569b
60	13.282±2.254a	10.058±0.643a

3 讨论与结论

目前,对人参皂苷的研究主要集中于药理及新产品开发方面,特别是吉林省的人参产业产值已经超过 550 亿元,集中在药品和保健品中^[24]。但人参皂苷可作为一种化感物质对植食性昆虫产生拒食、忌避及毒杀作用^[23]。本试验测定了人参皂苷 Rg1 对小菜蛾趋避率的影响,趋避作用明显,其原因可能是小菜蛾在取食含有人参皂苷 Rg1 的油菜叶片后,人参皂苷 Rg1 诱导其体内产生降解人参皂苷的酶。这与人参总皂苷对其他植食性昆虫的趋避作用效果相似。谭世强等^[25]研究表明,不同浓度人参皂苷对 4 龄黏虫具有显著的拒食活性,且与人参皂苷浓度正相关。因此,需要继续深入研究人参皂苷对小菜蛾幼虫体内保护酶和消化酶等的影响,才能够明确人参皂苷对小菜蛾产生拒食活性的内在原因。

人参皂苷 Rg1 能够影响小菜蛾保护酶和消化酶活性,且影响效果有抑制和诱导作用并存,在 48 h、10 mg/mL 条件下对 CAT、几丁质酶活性抑制作用最强;在 48 h、20 mg/mL 条件下,对 POD、AMS 和脂肪酶抑制作用最强;在 24 h、10 mg/mL 条件下,对 SOD 活性抑制作用最强。随处理时间增加,抑制率与处理浓度不呈正相关。分析其原因,可能是小菜蛾对人参皂苷 Rg1 产生一定抗性,小菜蛾体内分泌抵抗人参皂苷 Rg1 的物质。

低浓度人参皂苷 Rg1 对小菜蛾体内保护酶、消化酶、几丁质酶呈现明显的抑制作用。这将对进一步研究以人参皂苷 Rg1 为主要成分的生物杀虫剂具有重要的参考价值,也为将来全面探讨人参皂苷 Rg1 的药理作用打下坚实的基础。

参考文献:

- [1] 王月,翟华强,鲁利娜,等.人参的本草考证及现代研究综述[J].世界中医药,2017,12(2):470-473,476.
- [2] 杨娜,周柏松,王亚茹,等.人参皂苷 Rg1 生物活性研究进展[J].中华中医药杂志,2018,33(4):1463-1465.
- [3] 李蕾,谢丽娟,王国明,等.人参、西洋参不同部位提取物中 14 种皂苷含量比较[J].人参研究,2018,30(3):11-13.
- [4] 窦德强,靳玲,陈英杰.人参的化学成分及药理活性的研究进展与展望[J].沈阳药科大学学报,1999,16(2):151-156.
- [5] 王铁生.中国人参[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2001:829-830.
- [6] 萧培根.我国东北地区野生人参的初步调查[J].药学报,1962(6):340-351.
- [7] 袁林,薛明,刘雨晴,等.黄荆提取物对小菜蛾幼虫毒力及对成虫的产卵忌避作用[J].应用生态学报,2006(4):4695-4698.
- [8] 殷茜,钱路,曹广春,等.小菜蛾阿维菌素和虫酰肼抗性品系对几种新型药剂的交互抗性研究[J].南京农业大学学报,2010,33(5):60-64.
- [9] 何学利.植物体内的保护酶系统[J].现代农业科技,2010(10):37-38.
- [10] 李雪.人参单体皂苷 Rb1 和根总皂苷对小菜蛾驱避效果及酶活性的影响[D].延吉:延边大学,2019.
- [11] 陈晓亚,王凌健,毛颖波,等.植物萜类生物合成与抗虫反应[J].生命科学,2015,27(7):813-818.
- [12] 谭世强,马琳,许永华,等.植物三萜类物质的生态学功能研究进展[J].人参研究,2015,27(3):36-38.
- [13] 奚广生,王二欢,杨鹤.人参茎叶总皂苷对小菜蛾取食、解毒酶及乙酰胆碱酯酶的影响[J].东北林业大学学报,2017,45(8):97-100.
- [14] 杨峰山,张友军,张文吉,等.用甘蓝苗连续饲养小菜蛾的技术[J].昆虫知识,2004(5):483-486.
- [15] 郭磊,边全乐,张宏军,等.小菜蛾抗药性监测方法-叶片药膜法[J].应用昆虫学报,2013,50(2):556-560.
- [16] 张治安,张美善,蔚荣海.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业科学技术出版社,2004:134.
- [17] 方允中,张嘉麟,刘智峰,等.再障及 ITP 患者血液中谷胱甘肽过氧化物酶、超氧化物歧化酶与过氧化氢酶活力[J].军事医学科学院院刊,1985(3):311-314.
- [18] Simon L M, Farrai Z, Jonas D E. Study of peroxide metabolism enzymes during the development of *Phaseolus valgris*[J]. Biochemistry Physiology, 1974, 166: 388.
- [19] 杨振德,朱麟,赵博光,等.苦苣草生物碱对分月扇舟蛾体内消化酶和保护酶活性的影响[J].北京林业大学学报,2006,28(1):80.
- [20] 查黎春.三种农药对天幕毛虫、舞毒蛾超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2011.
- [21] 陈巨莲,倪汉祥,孙京瑞.小麦几种主要次生物质对麦长管蚜几种酶活力的影响[J].昆虫学报,2003,46(2):144-149.
- [22] 蒋传葵,金承德,吴仁龙.工具酶的活性测定[M].上海:上海科学技术出版社,1982:74-76,79-82.
- [23] 周桂,孙果宋,黄科林,等.植物源农药杀虫与抑制几丁质酶活性的测定[J].时珍国医国药,2010,21(3):732-733.
- [24] 高阳,康优,王勇.吉林省人参加工产业发展分析及建议[J].东北农业科学,2019,44(1):79-83.
- [25] 谭世强,马琳,许永华,等.人参总皂苷对 4 龄黏虫的取食及生长发育的影响[J].中国中药杂志,2015,40(14):2787-2791.

(责任编辑:范杰英)